

# Vorbereitende Arbeiten für die Anwendung der CARS-Thermometrie in LOX/CH<sub>4</sub>-Sprayflammen

**W. Clauss, M. Oswald**  
Institut für Raumfahrtantriebe  
DLR Lampoldshausen

**V. Smirnov et al.**  
Institut für Nichtlineare Optik  
RAS Moskau



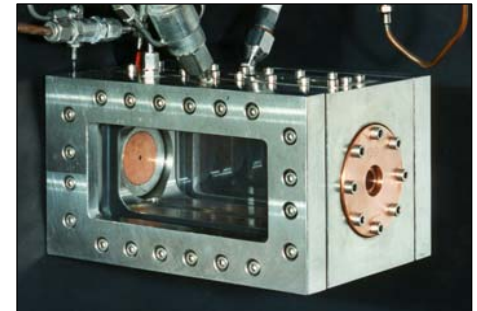
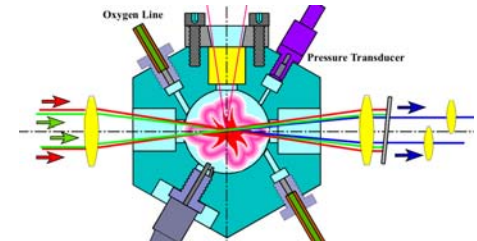
# Diagnostik von CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>-Flammen: roadmap

## experimentelle Anlagen:

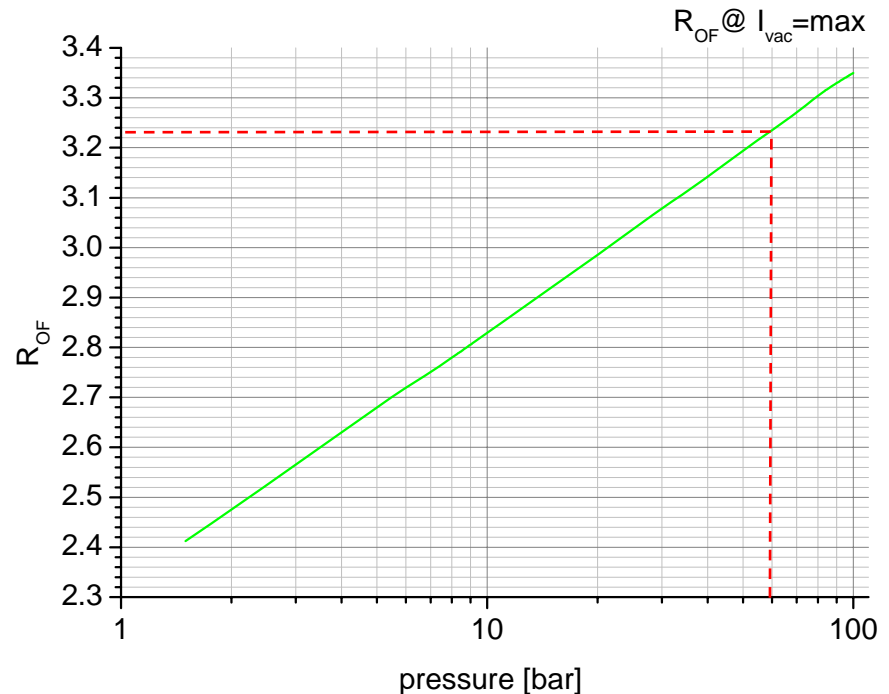
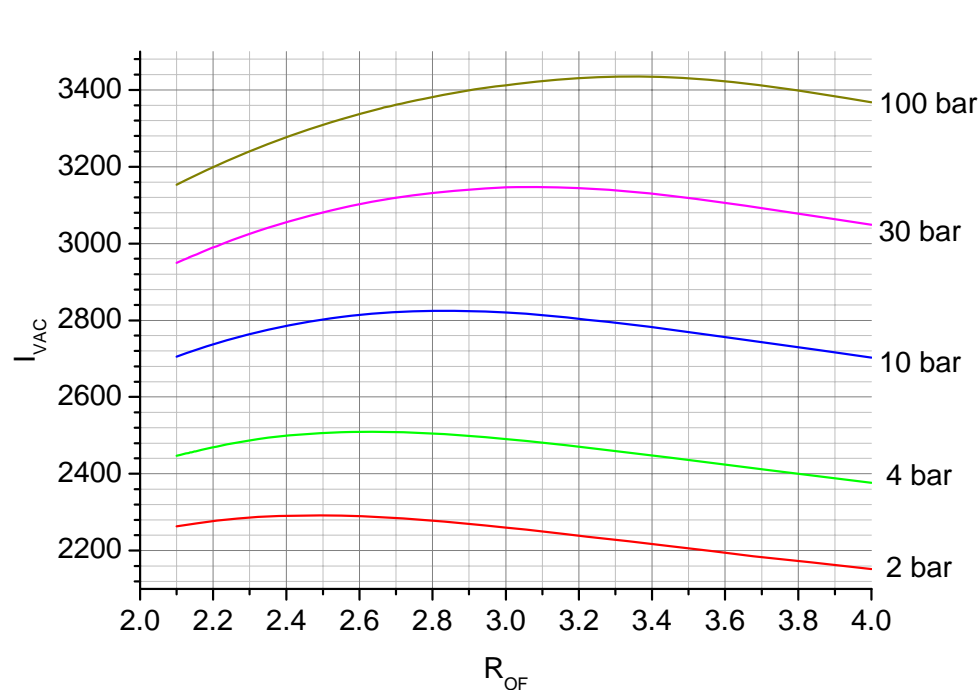
- Matrixbrenner ( $P_C < 2 \text{ MPa}$ )
- gepulster HD-Brenner ( $P_C < 10 \text{ MPa}$ , hohe T)
- micro-Brennkammer am M3.1 Prüfstand (LOX/CH<sub>4</sub> Sprayverbrennung,  $P_C < 1 \text{ MPa}$ )
- Brennkammer C am Prüfstand P8 (LOX/CH<sub>4</sub> Sprayverbrennung,  $P_C < 10 \text{ MPa}$ )

## Ziel der Arbeiten:

- CARS-Adaptation für den Einsatz bei folgenden Referenzbedingungen:
  - Brennkammerdruck:  $P_C = 6 \text{ MPa}$
  - Mischungsverhältnis:  $R_{OF} = 3.24$  ( $\Phi = 1.23$ )
  - Oxidortemperatur:  $T_{LOX} = 120 \text{ K}$
  - Treibstofftemperatur:  $T_{CH_4} = 300 \text{ K}$
  - Flammentemperatur:  $T_{flame} = 3636 \text{ K}$



# Spezifischer Impuls $I_{VAC}$ als Funktion des Mischungsverhältnisses und des Druckes



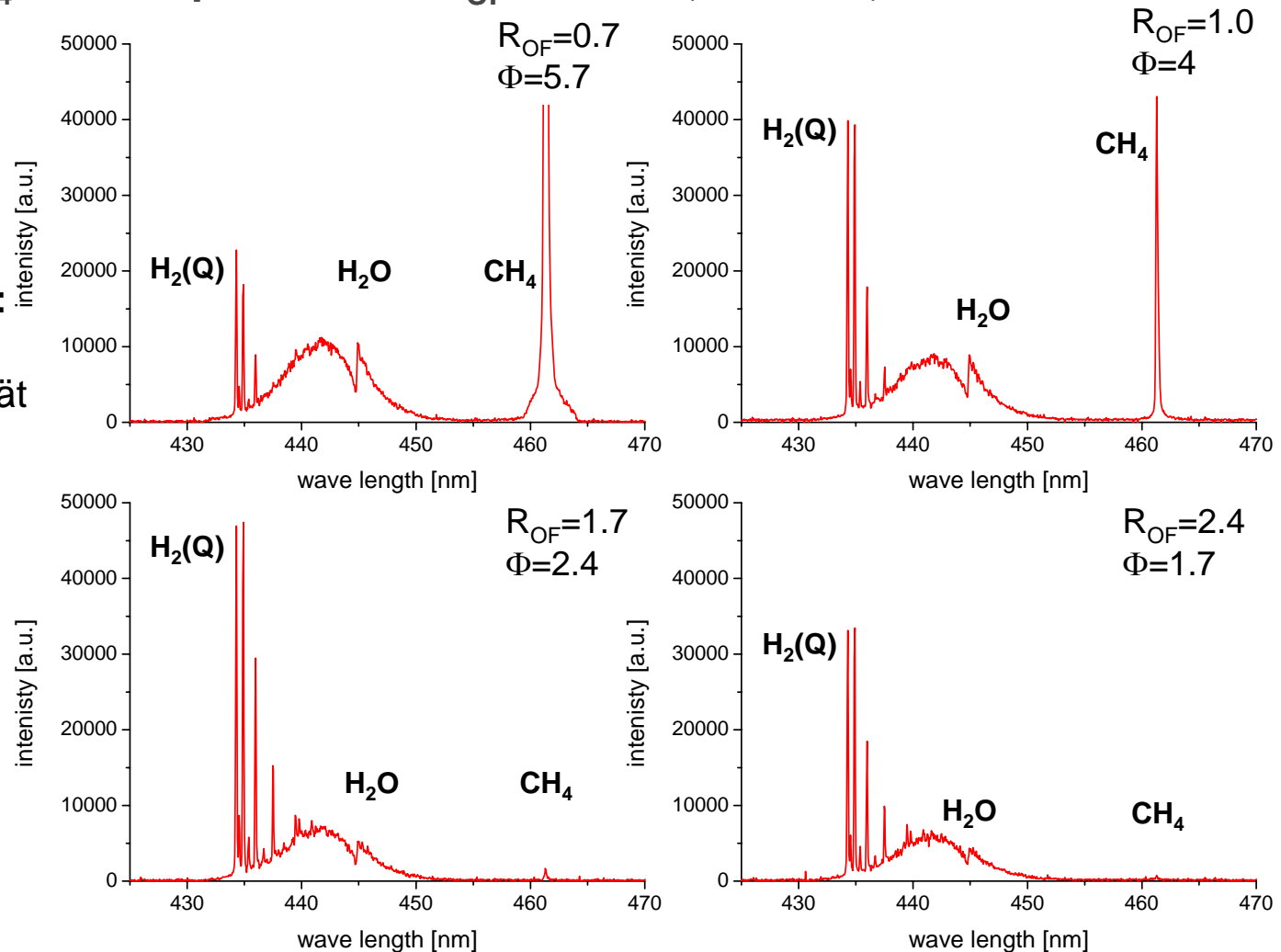
# lessons learned (1/3)

$\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , und  $\text{CH}_4$  CARS Spectren für  $R_{\text{OF}}=0.7-2.4$  ( $\Phi=1.7-5.7$ )

mit steigendem  
Mischungsverhältnis:

➤  $\text{CH}_4$ -Signalintensität  
verschwindet

➤ gute  $\text{H}_2$ -Signal-  
intensität bei allen  
 $R_{\text{OF}}$



# lessons learned (2/3)

## Schlussfolgerungen aus Laborexperimenten:

### ➤ CH<sub>4</sub>-CARS

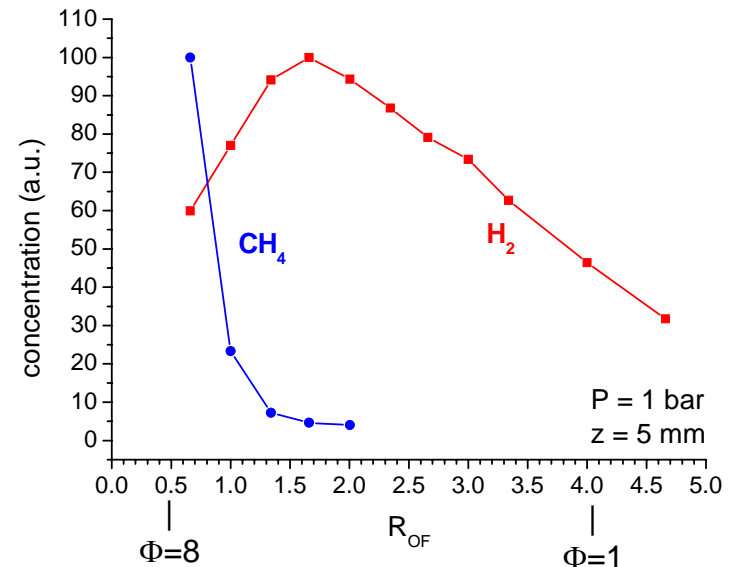
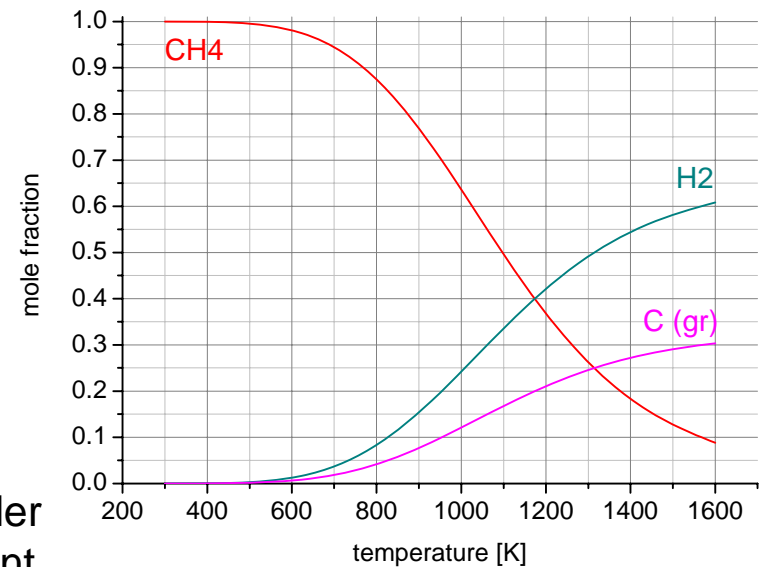
- Signal nur in fetten Flammen mit  $\Phi > 2.7$  ( $R_{OF} < 1.5$ ) wegen thermischer Dissoziation
- in Diffusionsflammen Signale nur auf der treibstoffreichen Seite der Flammenfront (unverbranntes, kaltes Methan)

### ➤ H<sub>2</sub>-CARS

- Signal mit guter Qualität im ausreagierten Gemisch: prioritäres Probenmolekül

### ➤ H<sub>2</sub>O-CARS

- Signal interferiert mit nicht-resonantem CARS-Signal



# lessons learned (3/3)

## Strategie für CARS in $\text{CH}_4/\text{O}_2$ -Flammen:

- 2 Probenmoleküle (können mit einem CARS-System simultan vermessen werden):
  - $\text{H}_2$  als Reaktionsprodukt
  - $\text{CH}_4$  als Reaktant
    - Option 1: Thermometrie an beiden Molekülen
      - zwei Nachweiskanäle mit unterschiedlicher spektraler Auflösung erforderlich
    - Option 2:  $\text{H}_2$ -Thermometrie,  $\text{CH}_4$ -Dichtebestimmung
- 1 Probenmolekül:
  - $\text{H}_2$ , wegen seiner guten Verfügbarkeit in der reaktiven Strömung

# Neuer Ansatz zur CARS-Diagnostik in CH<sub>4</sub>/LOX Sprayflammen bei hohem Druck

## INTAS Projekt

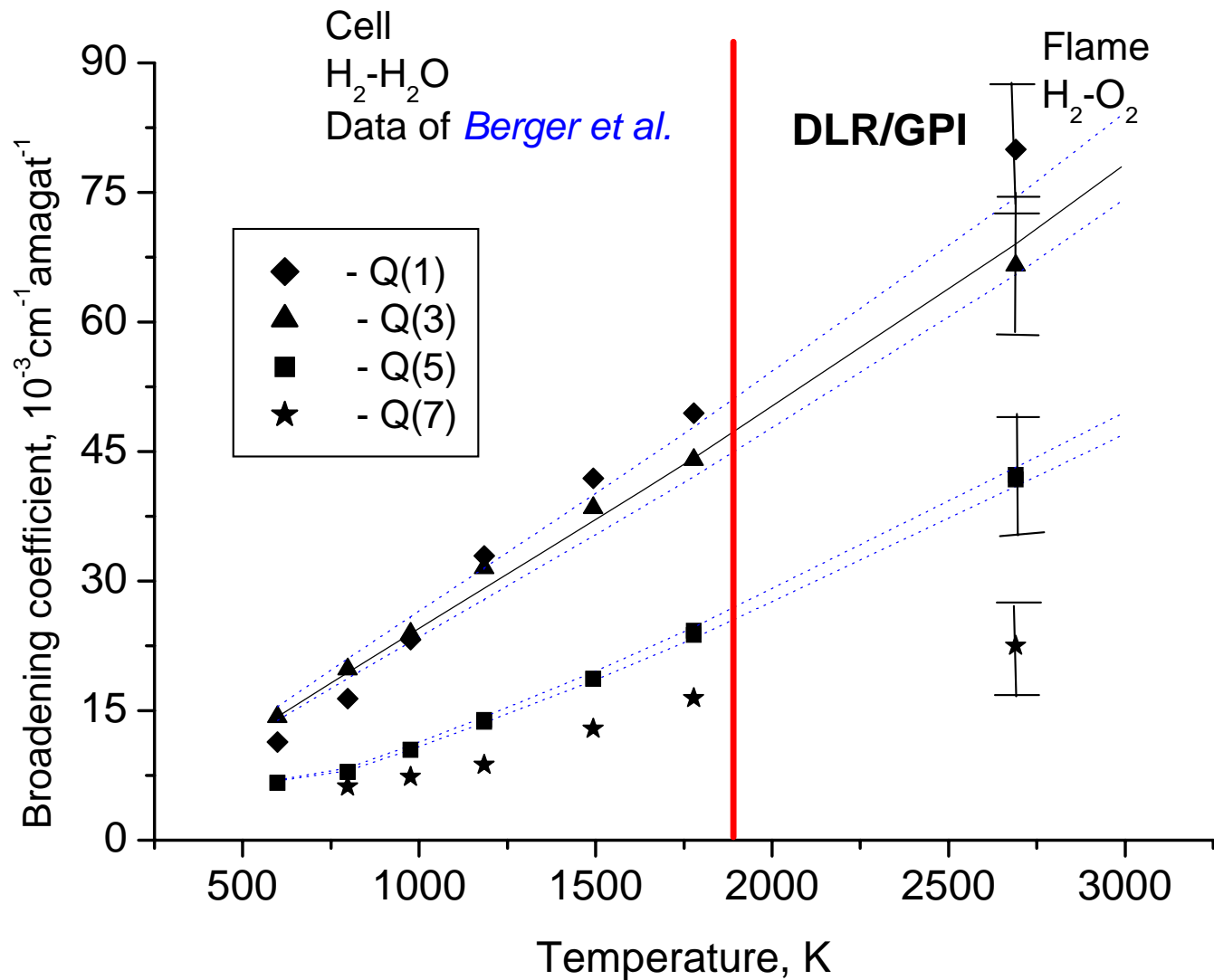
### Partner:

- DLR Lampoldshausen
- ONERA (DMPH), Palaiseau
- General Physics Institute der RAS (GPI)
- Central Institute of Aviation Motors (CIAM), Moskau

### Projekt Struktur

- Umbau des gepulsten Hochdruckbrenners für CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>-Verbrennung
- CFD-Simulation der Zündung und Verbrennung im gepulsten Brenner
- CARS-Spektroskopie im gepulsten Brenner
- Simulation der CARS-Spektren
- Vergleich der CARS-Codes
- CARS-System für Einzelschuss-Thermometrie bei hohem Druck
- Anwendung in einer CH<sub>4</sub>/LOX Sprayflamme bei hohem Druck

# H<sub>2</sub>-Linienverbreiterung bei hohem Druck in H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Flammen





# Idee von V. Smirnov, GPI

simultan

- Detektion des  $H_2$ -CARS Signals und
- Bestimmung der  $H_2$ -Linienbreite
  
- keine Notwendigkeit die Partialdichten aller potentiellen Stoßpartner im Messvolumen in der  $CH_4/O_2$ -Flamme zu bestimmen
- die Linienverbreiterungskoeffizienten müssen nicht bekannt sein

V.I. Fabelinsky, V.V. Smirnov, O.M. Stel'makh, K.A. Vereschagin, A.K. Vereschagin, W. Clauss, M. Oswald, "New Approach to single shot CARS thermometry of high pressure, high temperature hydrogen flames", Journal of Raman Spectroscopy, Vol. 38, 2007, pp. 989-993



# HIGH RESOLUTION SINGLE SHOT DBB-CARS SPECTROMETER

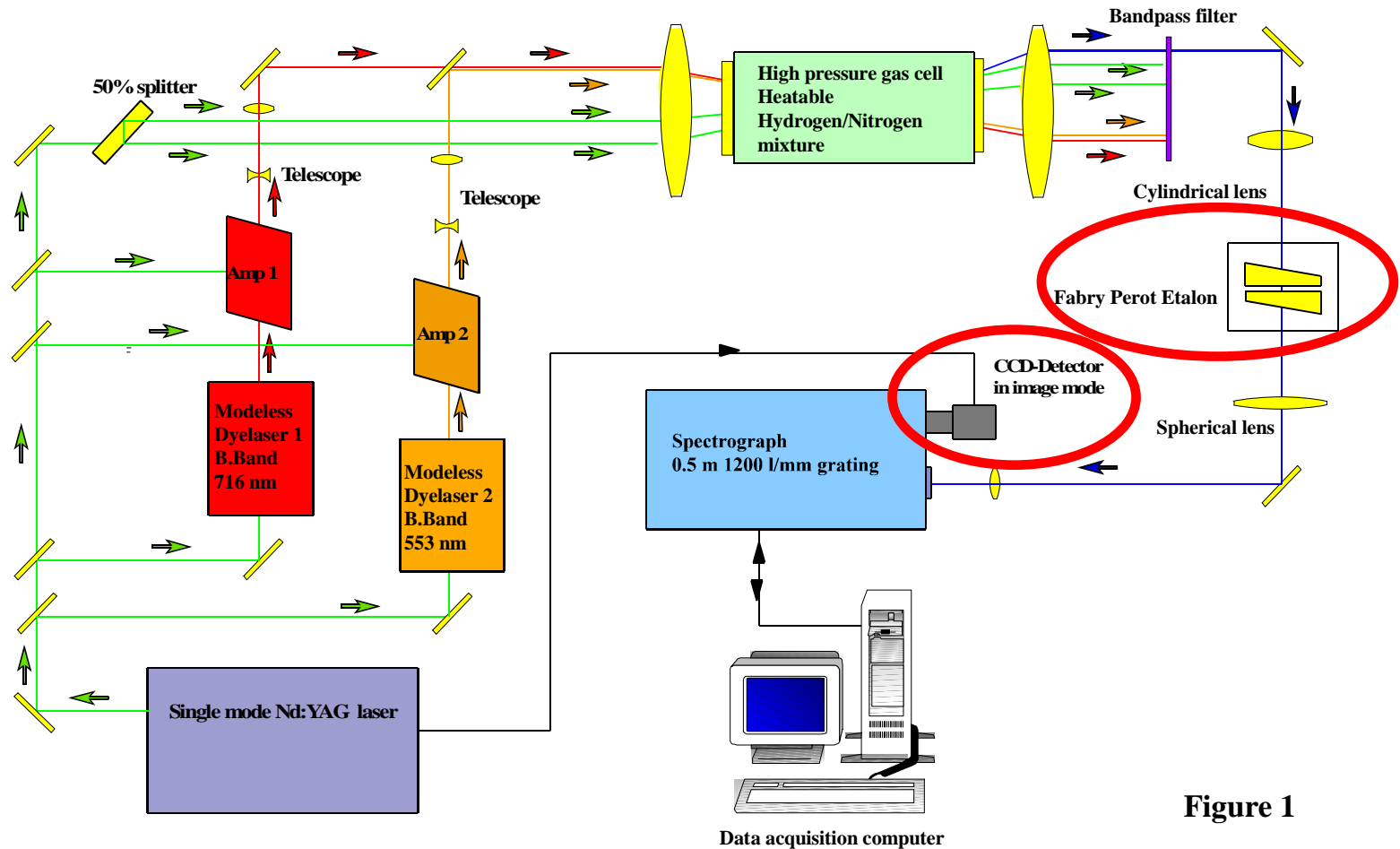
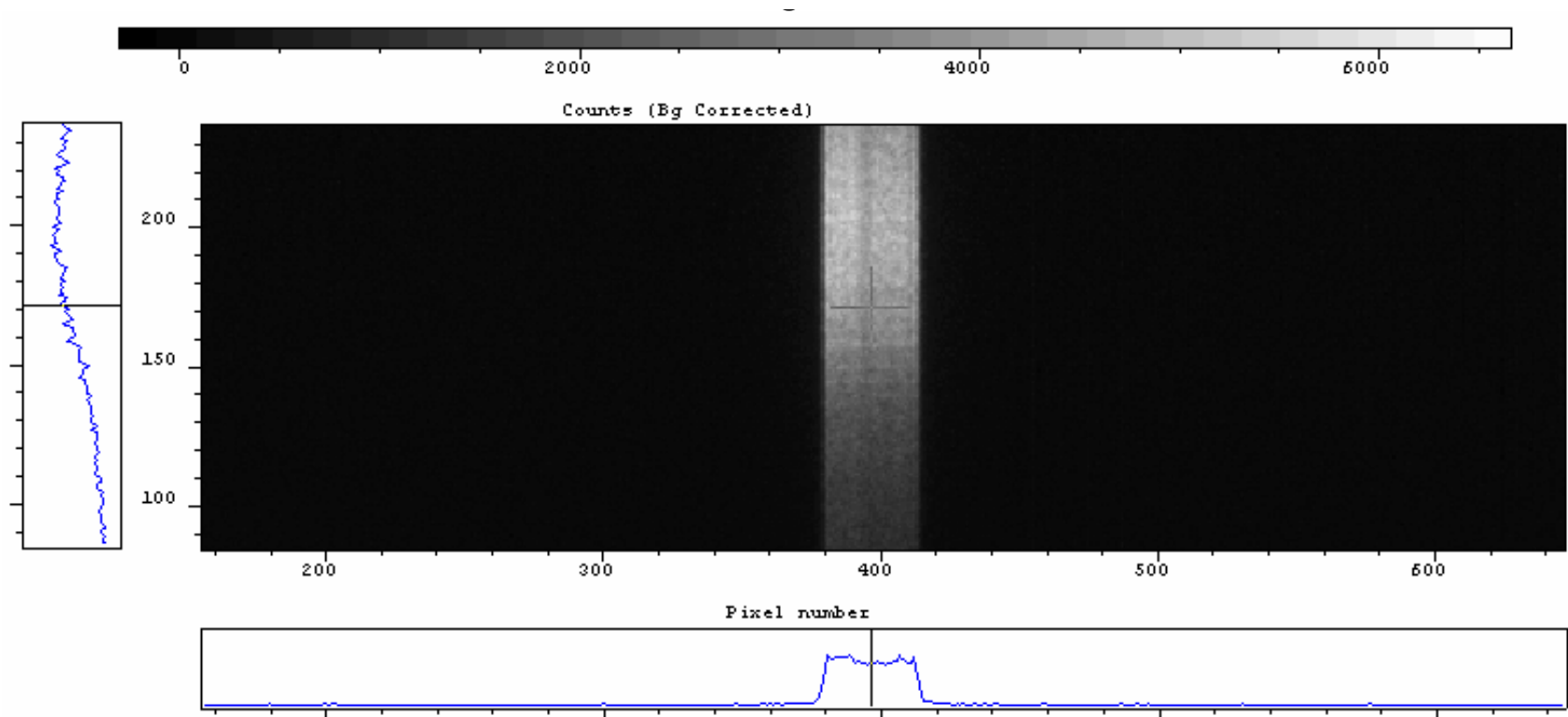


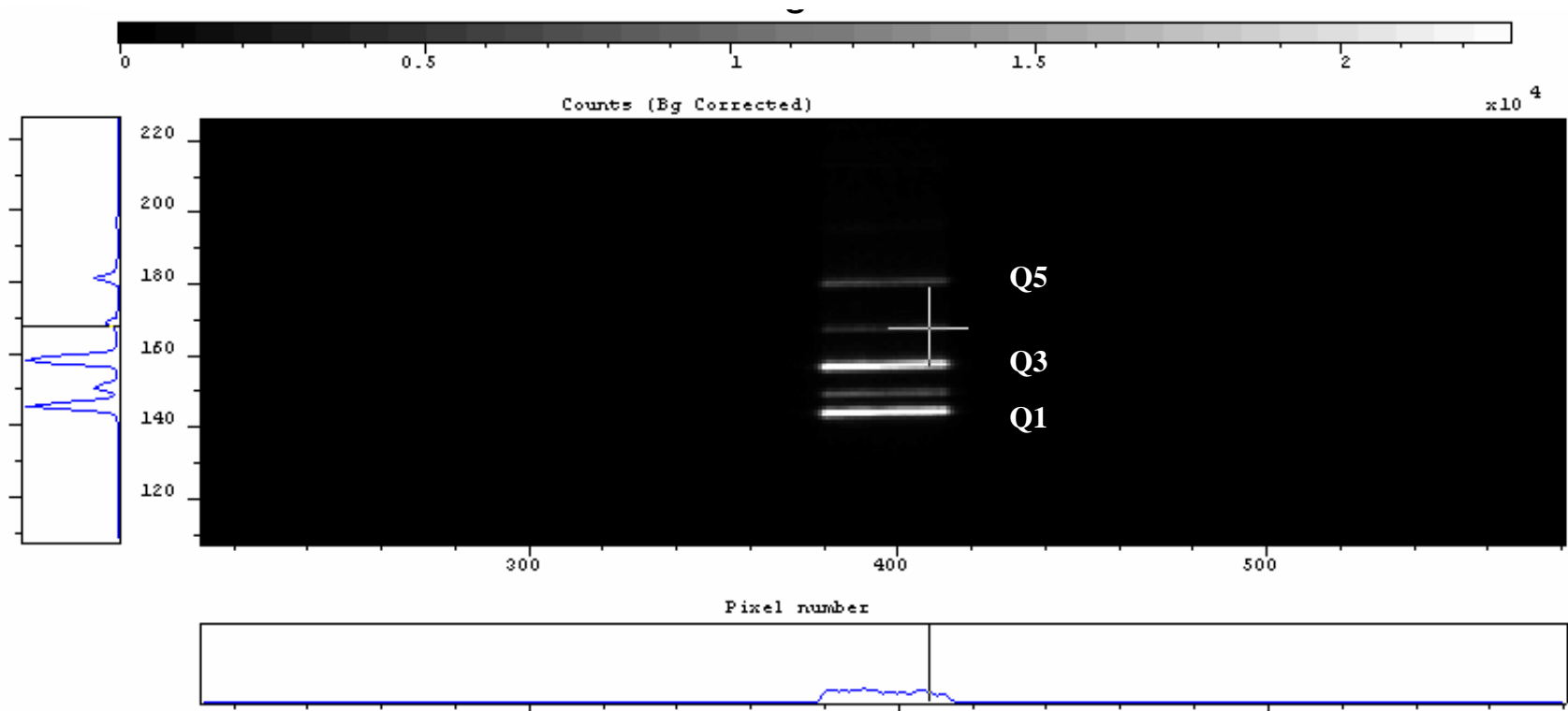
Figure 1

# nichtresonantes DBB H<sub>2</sub>-CARS Spektrum aus einer Gaszelle



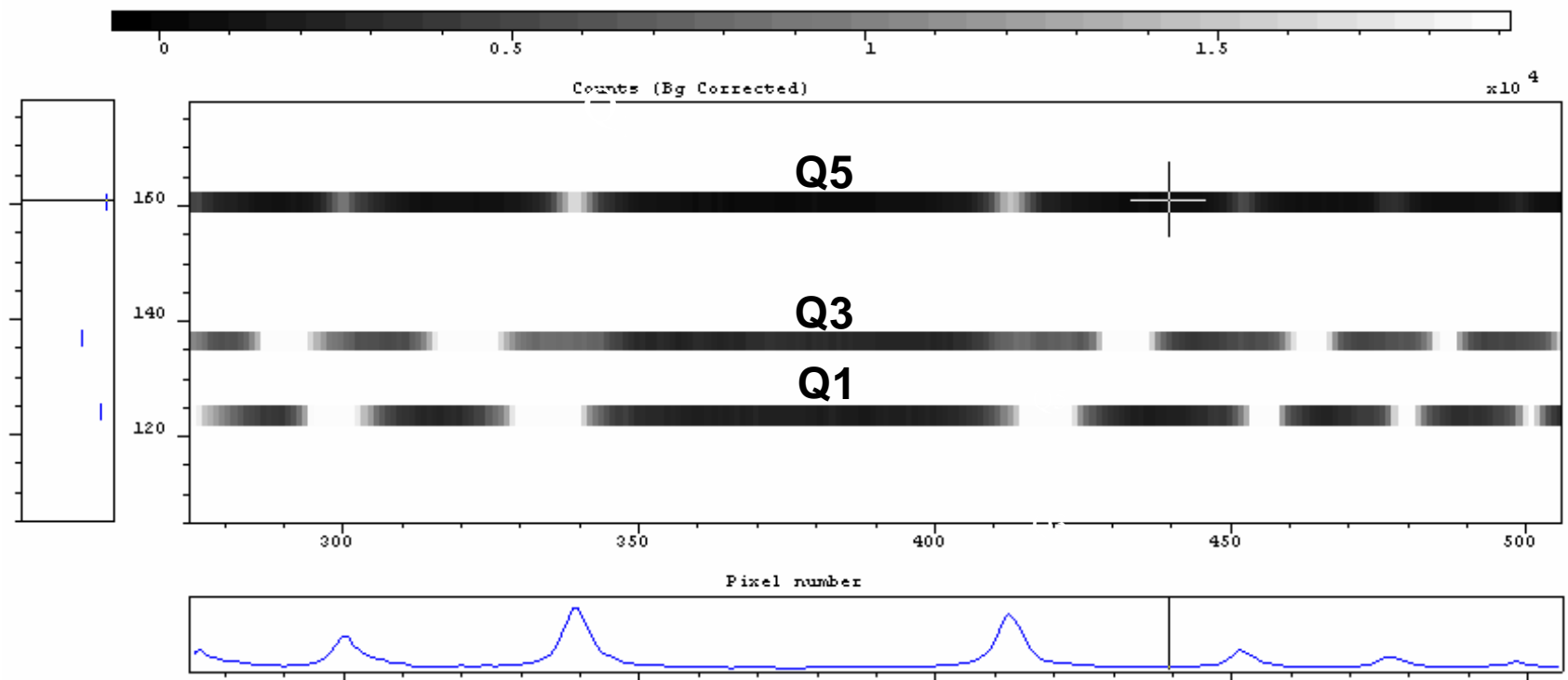
ohne Fabry-Perot Interferometer

# DBB-CARS Spektrum des H<sub>2</sub>-Q-Zweiges aus einer Gaszelle



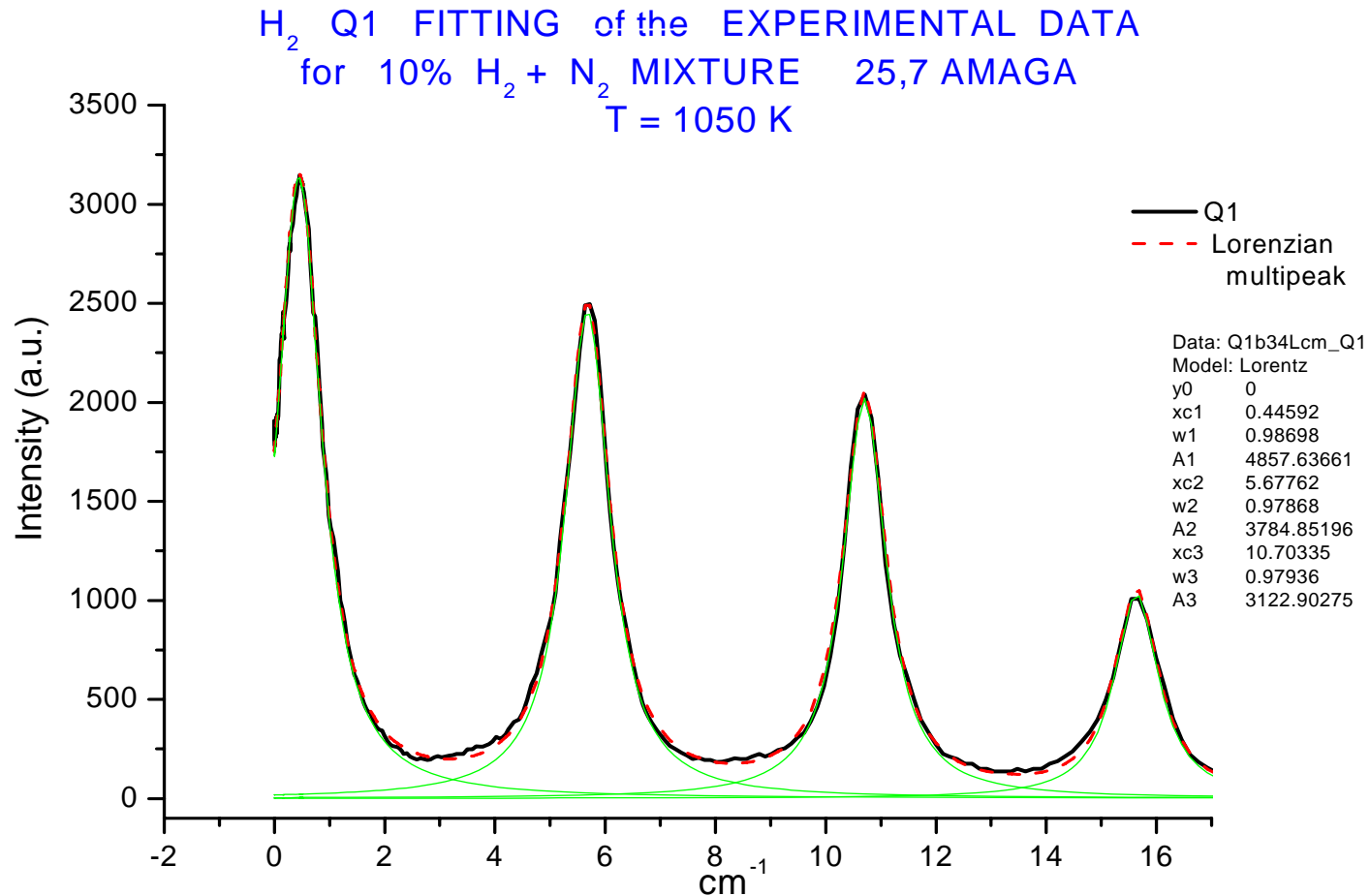
Geheizte Zelle mit einer Mischung von H<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 10, T = 960 K, P=5 bar  
**ohne Fabry-Perot Interferometer**

# DBB-CARS Spektrum des H<sub>2</sub>-Q-Zweiges aus einer Gaszelle

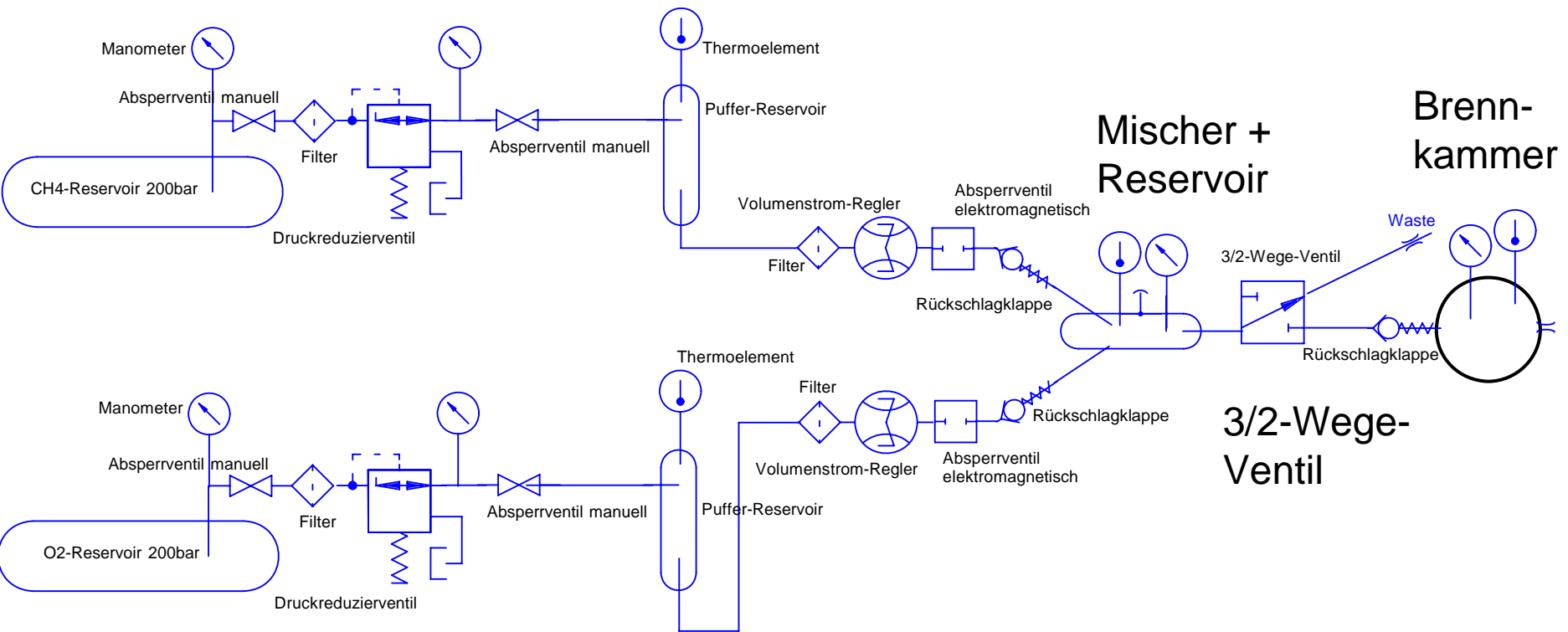


Einzelschuss-Spektrum mit Fabry-Perot Interferogramm

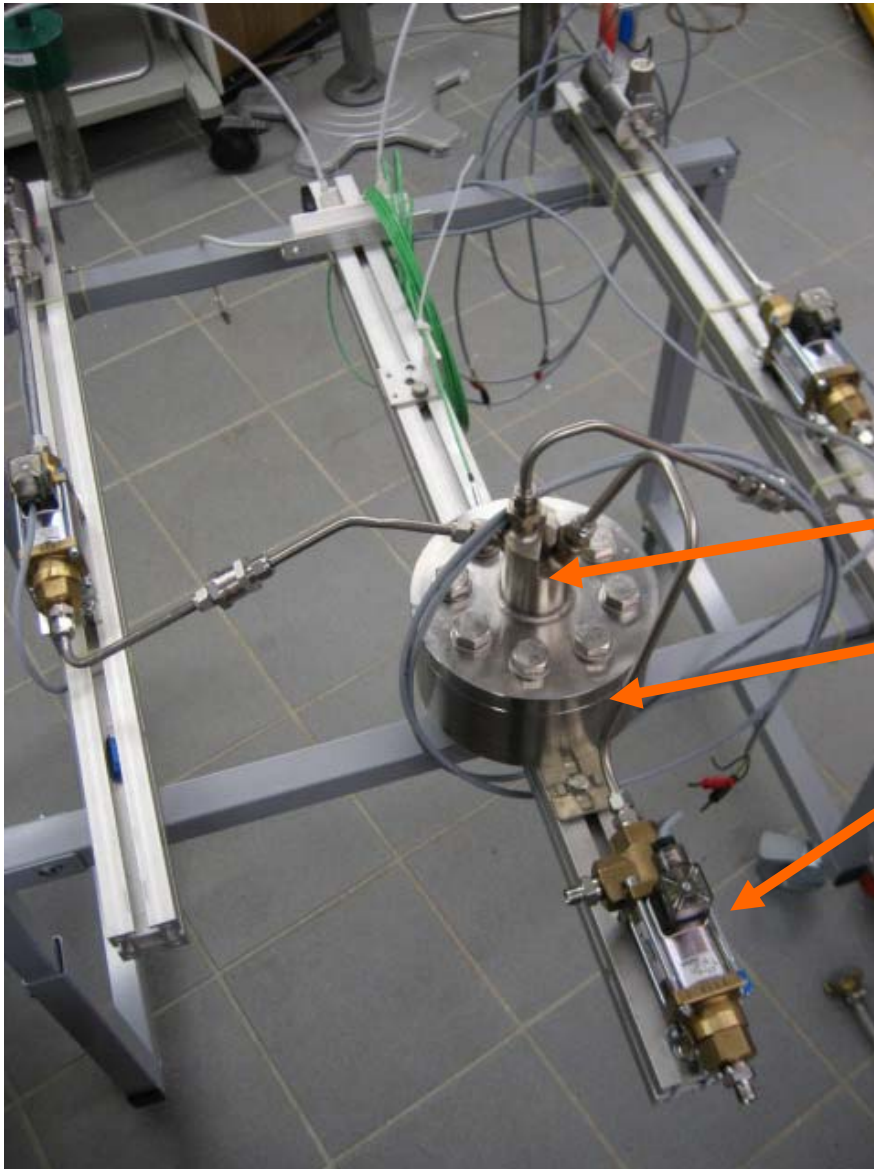
# Fit von Lorentzprofilen an die gemessene spektrale Verteilung



# Fließschema des gepulsten Brenners



# Gasversorgung Pulsbrenner



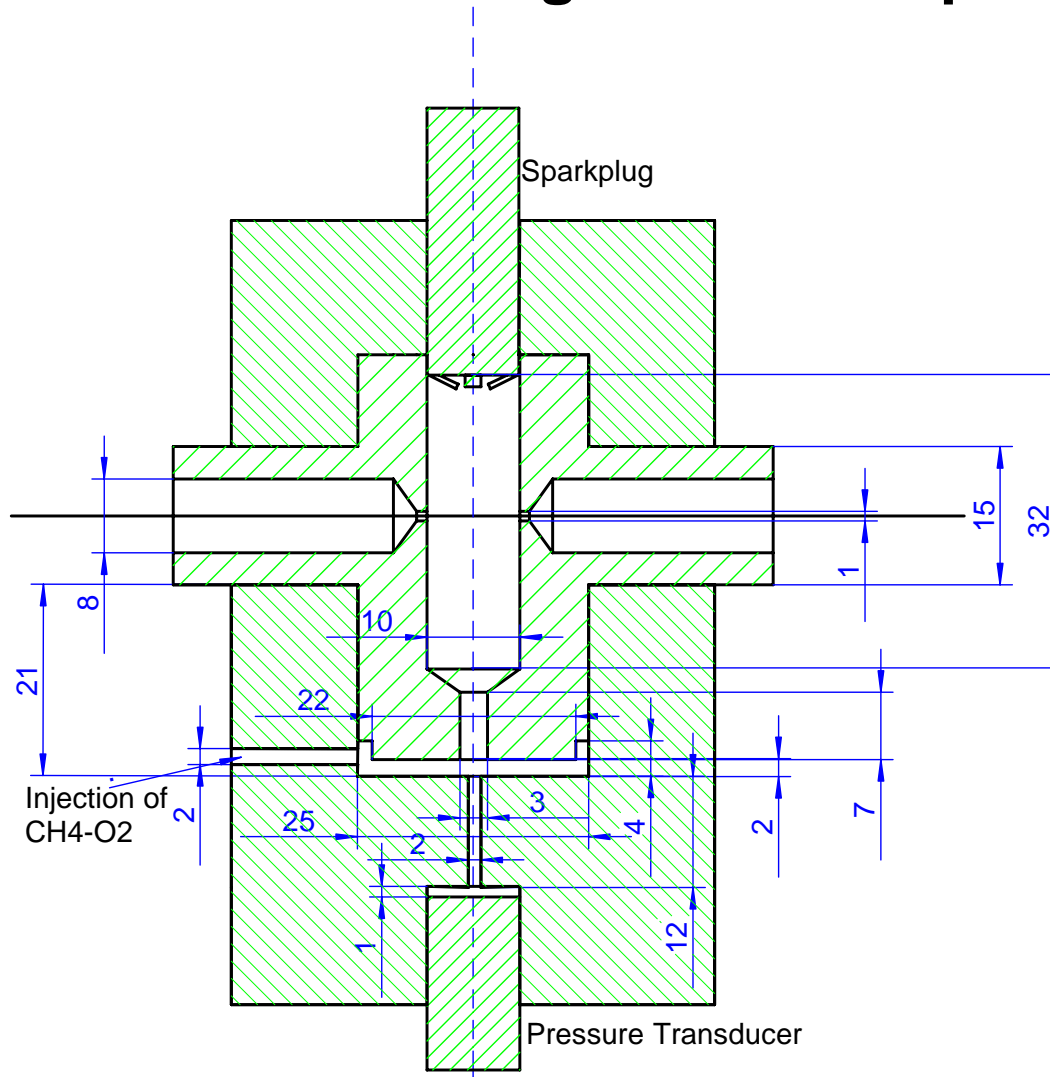
Mischer

Reservoir

3/2-Wege-Ventil



# Zusammenstellung Brennerkörper



# Timingsequenz

